

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra informatiky

Fotbal LEGO Robotů

LEGO Robots Soccer

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Zdeněk Neustupa

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

**Fotbal LEGO robotů
LEGO Robots Soccer**

Zásady pro vypracování:

Fotbal robotů je komplexní úlohou zahrnující různé disciplíny od zpracování obrazu až po metody softcomputingu. Cílem práce je analyzovat, navrhnout a realizovat vybrané části hry fotbal robotů pro roboty LEGO MINDSTORMS NXT.

1. Seznamte se s hrou fotbal robotů.
2. Seznamte se se závěrečnými pracemi z oblasti fotbalu robotů a LEGO robotů svých předchůdců a dalšími pracemi oborové katedry.
3. Anylazujte požadavky na konstrukci hráčů a míče, na řízení robotů, na vlastní hru (strategie, taktiky) atd.
4. Na základě analýzy navrhnete architekturu hry a realizujete její vybrané dílčí části.

Seznam doporučené odborné literatury:

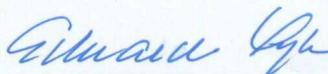
1. Sammut C. Robot soccer. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, Volume 1, Issue 6, pages 824–833, November/December 2010.
2. Závěrečné práce FEI VŠB - TUO týkající se fotbalu robotů a LEGO robotů..
3. Dále dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Eliška Ochodková, Ph.D.**


Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry

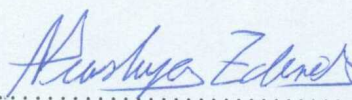




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

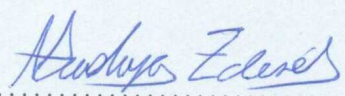
Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.*

V Ostravě 4. května 2012


.....

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 4. května 2012


.....

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucí své diplomové práce RNDr. Elišce Ochodkové, Ph.D. za pomoc a podporu, kterou mi poskytla v průběhu vytváření této práce. Dále také Ing. Janu Martinovičovi, Ph.D. za zpětnou vazbu k řešením daných úkolů.

Abstrakt

Díky technologickým pokrokům se dostupnost robotiky pro širokou veřejnost výrazně zlepšila. Jedním z příkladů mohou být roboti LEGO MINDSTORMS NXT od společnosti LEGO, kteří se díky své jednoduchosti a uživatelské přívětivosti těší veliké oblibě. Fotbal robotů je komplexní úlohou zahrnující různé disciplíny od zpracování obrazu přes vytváření taktik a strategií hry až po vytvoření a spravování komunikace mezi roboty a řídicím systémem.

Cílem této práce je analyzovat, navrhnout a realizovat vybrané části hry fotbal robotů pro roboty LEGO MINDSTORMS NXT. Konkrétně se seznámit s předchozími pracemi týkající se fotbalu LEGO robotů a analyzovat možná řešení. Dále navrhnout a realizovat konstrukci robotů a panelů pro jejich identifikaci. A v neposlední řadě navrhnout a implementovat modul pro komunikaci robotů s řídicím systémem pomocí technologie Bluetooth a modul pro zpracování obrazu za účelem identifikace a lokalizace hráčů a míče.

Klíčová slova: LEGO MINDSTORMS NXT, fotbal LEGO robotů, komunikace pomocí Bluetooth, zpracování obrazu, lokalizace objektů v obraze

Abstract

The availability of robotics to the general public has improved thanks to technological advances. One example might be LEGO MINDSTORMS NXT robots from Lego, which, thanks to its simplicity and user friendliness enjoys great popularity. Robots Soccer is a complex task involving different disciplines from the image processing through the creation of tactics and game strategies to creating and maintaining communication between the robot and the control system.

The aim of this thesis is to analyze, design and implement the selected parts of the Robots Soccer game for LEGO MINDSTORMS NXT robots. Specifically, to get acquainted with previous work on the LEGO robots football and analyze possible solutions. In addition to design and implement the construction of robots and panels for their identification. Finally, design and implement a module for communication between the robot and the control system using Bluetooth technology and module for image processing aimed to the player and ball identification and localization.

Keywords: LEGO MINDSTORMS NXT, LEGO robots soccer, Bluetooth communication, image processing, image object localization

Seznam použitých zkratek a symbolů

MRDS	– Microsoft Robotics Developer Studio
VPL	– Visual Programming Language
SPP	– Serial Port Profile
GCC	– GNU Compiler Collection
COM	– COMmunication port
RGB	– barvený model (červená, zelená, modrá)
HSV	– barevný model (odstín, sytost, hodnota)

Obsah

1	Úvod	6
1.1	Úvod do problematiky	6
1.2	Rozdělení dokumentu	6
2	Základní popis LEGO MINDSTORMS NXT	8
2.1	NXT Brick	8
2.2	Motor	8
2.3	Bluetooth	10
3	Analýza předchozích řešení dané problematiky	11
3.1	Konstrukce robota	11
3.2	LED identifikace robotů	11
3.3	Komunikace řídicího systému s roboty	13
3.4	Zpracování obrazu	13
4	Konstrukční řešení	15
4.1	Konstrukce robota	15
4.2	Konstrukce panelu pro identifikaci	15
4.3	Konstrukce identifikátorů hřiště	19
5	Komunikace pomocí technologie Bluetooth	20
6	Lokalizace a identifikace	21
6.1	Lokalizace hřiště a kalibrace	21
6.2	Lokalizace a identifikace hráčů	22
6.3	Lokalizace míče	24
7	Návrh implementace	26
7.1	Použité technologie	26

7.2	Modul pro komunikaci prostřednictvím Bluetooth	27
7.3	Modul pro lokalizaci objektů	27
7.4	Aplikace pro prezentaci výstupů	27
8	Implementace	29
8.1	Bluetooth komunikace	29
8.2	Zpracování obrazu	31
8.3	Výsledná aplikace	37
9	Testování	40
9.1	Testování konstrukce	40
9.2	Testování Led diod	40
9.3	Testování rozsahu pozorovacího úhlu kamery	42
9.4	Testování vlivu intenzity osvětlení	42
9.5	Testování míče pro hru fotbal robotů	42
9.6	Testování Bluetooth komunikace	43
10	Vyhodnocení experimentů	45
11	Závěr	48
11.1	Výhody a nedostatky	48
11.2	Další vývoj	49
12	Literatura	51
	Přílohy	52
A	Obsah disku CD	53

Seznam tabulek

1	Rozměry konstrukce robota	15
2	Možné uspořádání barev na panelu pro identifikaci	18
3	Možné kalibrační modely	22

Seznam obrázků

1	Řídící jednotka NXT Brick, Zdroj: [13]	9
2	Servomotor NXT, Zdroj: [5]	9
3	Konstrukce robota z práce Jana Pastrňáka, Zdroj: [2]	12
4	Konstrukce LED panelu z práce Jana Pastrňáka, Zdroj: [2]	12
5	Nově vytvořená konstrukce robota, Zdroj: vlastní	16
6	Rozdělení pinů pro porty NXT Brick, Zdroj: [9]	17
7	Nově vytvořená konstrukce LED panelu, Zdroj: vlastní	18
8	Výsledná konstrukce robota s LED panelem, Zdroj: vlastní	23
9	Míč RoboCup Junior, Zdroj: vlastní	25
10	Ukázka uživatelského rozhraní, Zdroj: vlastní aplikace	39
11	Výsledná konstrukce robota s krytem, Zdroj: vlastní	41
12	Ukázka uživatel. rozhraní komunikační aplikace, Zdroj: vlastní aplikace .	44
13	Ukázka kalibrace hrací plochy, Zdroj: vlastní aplikace	46
14	Ukázka detekce hráčů a míče, Zdroj: vlastní aplikace	47

Seznam výpisů zdrojového kódu

1	Ukázka navázání komunikace s NXT kostkou. Zdroj: [8]	30
2	Popis vstupních parametrů funkce inRange. Zdroj: [10]	32
3	Popis vstupních parametrů funkce findContours. Zdroj: [10]	33
4	Popis vstupních parametrů funkce HoughCircles. Zdroj: [10]	34

1 Úvod

1.1 Úvod do problematiky

Robotika je v dnešní době již nedílnou součástí velkého množství nejen vědeckých projektů, ale také projektů týkajících se zábavy a sportu. Pomocí robotů se lidé snaží simulovat různé lidské aktivity, jako je například hraní fotbalu.

Podnětem k vytvoření této práce byl požadavek na zobecnění hry fotbal robotů. Při událostech, jako je například RoboCup, musí být dodržována velice striktní pravidla týkající se rozměrů hřiště, rozměrů a tvaru hráče a v neposlední řadě také způsobu snímání hřiště kamerou. Dalším výrazným omezením jsou pravidla předepisující konkrétní hodnoty intenzity osvětlení, které dopadá na hrací plochu a další specifické parametry.

Tato omezení značně komplikují testování taktik a strategií na reálné hrací ploše, které byly vytvořeny týmem naší oborové katedry specializujícím se na fotbal robotů. V současnosti jsou vytvořené strategie a taktiky testovány v simulátoru.

Cílem této práce, po analýze stávajících řešení uvedených v závěrečných pracích oborové katedry, je navrhnout a realizovat smysluplnou a stabilní konstrukci robotů (hráčů) a navrhnout a zkonstruovat panely pro jednoznačnou identifikaci hráčů na hřišti, které budou sloužit také pro detekci hráčů ve snímaném obraze a vytvoření či použití vhodného míče (objektu pro hraní hry). Dalším úkolem práce je navrhnout a implementovat modul pro komunikaci robotů s řídicím systémem pomocí Bluetooth technologie a modul pro zpracování obrazu snímaném kamerou za účelem lokalizace a identifikace hřiště, hráčů a míče.

1.2 Rozdělení dokumentu

Na úvod této práce, po velmi stručném popisu LEGO MINDSTORMS NXT, bude podán přehled již vytvořených řešení zabývajících se danou problematikou se zaměřením

na práce vytvořené pod katedrou informatiky VŠB-TUO. Daná řešení budou analyzována a zhodnocena co do použitelnosti pro účely této práce.

V kapitole 4 bude popsán návrh konstrukcí jednotlivých částí hry fotbal robotů a následně budou tyto konstrukce také realizovány.

V následujících dvou kapitolách budou stručně popsány základní principy předpokládaného řešení.

V kapitole 7 budou popsány návrhy implementace modulů pro komunikaci a zpracování obrazu a v kapitole 8 bude popsána implementace určitých částí těchto modulů. Následně budou implementované moduly podrobeny testování a výsledky těchto testů budou stručně okomentovány.

Na závěr shrneme dosažené výsledky a přínosy této práce k danému tématu.

2 Základní popis LEGO MINDSTORMS NXT

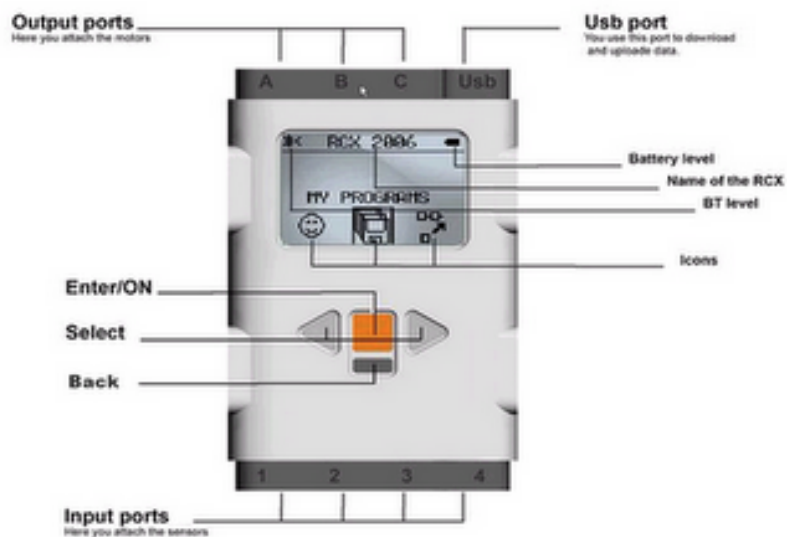
V této části textu bude věnován malý prostor stručnému popisu robota LEGO MINDSTORMS NXT. Podrobnější charakteristiky stavebnice jsou popsány například v [2] či [1]. Velmi obsáhlý popis jednotlivých senzorů, které je možno s daným robotem použít, je uveden v [5]. Jelikož pro naši práci nevyužijeme žádných senzorů, budou v následujících kapitolách popsány pouze ty komponenty, které jsou pro naše účely nezbytné. Tedy samotná řídicí kostka robota a samozřejmě motory. Také zde bude popsán princip a omezení robota v rámci komunikace pomocí Bluetooth technologie.

2.1 NXT Brick

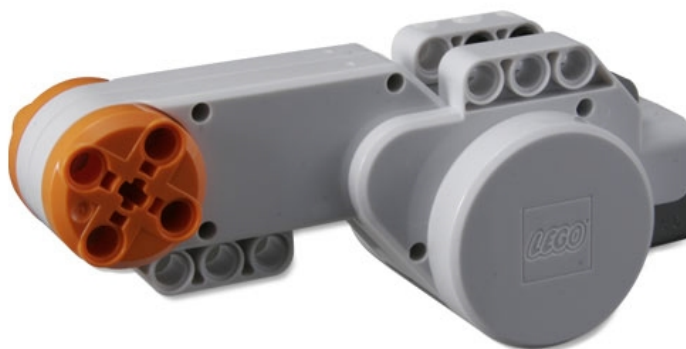
Řídicí kostka NXT Brick je nezbytnou součástí každé konstrukce LEGO robota. Daná komponenta obsahuje tři výstupní porty (A, B, C) pro zapojení motorů robota a čtyři vstupní porty (1, 2, 3, 4) pro zapojení senzorů. Rozložení portů je zřejmé z obrázku 1. Komunikace řídicí kostky s počítačem může probíhat pomocí připojení přes USB, ale také pomocí technologie Bluetooth.

2.2 Motor

Motory dodávané se stavebnicí LEGO MINDSTORMS NXT jsou výkonné servomotory se zabudovaným rotačním čidlem, které umožňuje přesnou kontrolu otáček motoru. [5] Tato vlastnost se může projevit jako důležitá při potřebě zadat robotovi příkaz k přesunu z jednoho místa na druhé. Vzdálenost, kterou má robot urazit musí být tedy přepočítána na otáčky motoru kolem vlastní osy. Servomotor je zobrazen na obrázku 2.



Obrázek 1: Řídící jednotka NXT Brick, Zdroj: [13]



Obrázek 2: Servomotor NXT, Zdroj: [5]

2.3 Bluetooth

Každý robot LEGO MINDSTORMS NXT obsahuje bezdrátový uzel Bluetooth, který umožňuje NXT kostce komunikovat s jinými zařízeními Bluetooth. NXT Bluetooth má následující funkcionality a omezení:

- Může v jednom okamžiku komunikovat pouze s jedním Bluetooth zařízením
- Může se v jednom okamžiku připojit až ke třem dalším zařízením
- Je schopen vyhledat a připojit se k jiným Bluetooth zařízením
- Pamatuje si předešlá připojená zařízení pro rychlé znovupřipojení
- Má možnost nastavení viditelnosti vůči jiným zařízením

Kostka LEGO MINDSTORMS NXT je schopna komunikovat s externím Bluetooth zařízením, které využívá sériový profilový port a může být naprogramován tak, aby mohl přenášet komunikační protokol LEGO MINDSTORMS NXT.

Řídící kostce robota je možné zaslat přímé příkazy. Takovéto přímé příkazy jsou kostkou NXT interpretovány a přeloženy na specifické funkce bez jakéhokoli dalšího zásahu uživatele. Tato funkcionality umožňuje přímé ovládání robota pomocí externího zařízení Bluetooth, jako je například mobilní telefon či PDA.

Pro účely této práce budou tyto příkazy největším přínosem. Po navázání spojení vnějšího zařízení s NXT kostkami všech hráčů na hrací ploše je nutné právě pomocí těchto přímých příkazů ovládat jednotlivé motory robotů.

Jedním z nedostatků, které v dřívější době bránily použití tohoto typu robotů, bylo omezení posílané zprávy mezi vnějším zařízením a NXT kostkou. Při oboustranné komunikaci často docházelo ke zpomalení interakce, nebo dokonce ke ztrátě spojení. Jelikož pro účely naší hry však budeme využívat pouze komunikaci jednosměrnou (nebudeme odečítat žádná data ze senzorů), měl by být tento nedostatek potlačen.

3 Analýza předchozích řešení dané problematiky

Disciplínami, které se týkají řešení různých částí hry fotbalu robotů, se již zabíral nespočet prací vytvořených pod katedrou informatiky naší univerzity. V této kapitole podrobněji popíšeme stávající řešení, která se jeví jako efektivní a hlavně použitelná pro reálnou hru.

3.1 Konstrukce robota

Po analýze řešení, které bylo vytvořeno a popsáno Janem Pastrňákem v jeho diplomové práci [2] a řešení, které na něj navazuje použité s drobnými úpravami v diplomové práci Mariána Poláčka [1], bylo rozhodnuto, že tato konstrukce robotů nebude použita. Zmíněná konstrukce je zobrazena na obrázku 3. Jedním z hlavních důvodů tohoto rozhodnutí byla malá stabilita robotů, která by se mohla projevit při odehrávání míče, či nárazu jednoho hráče do druhého. Dalším důvodem byla příliš velká výška robota. Základním předpokladem pro následné zpracování obrazu je shodnost výšky robota a výšky mantinelů hrací plochy. Tento koncept je blíže popsán v kapitole 4.1.

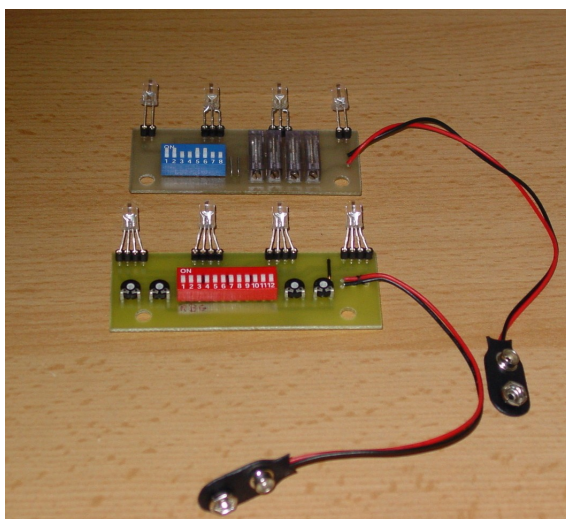
3.2 LED identifikace robotů

Po konzultacích s vedoucí této práce a dalšími členy týmu pracujících na projektu fotbalu robotů, bylo určeno, že použitým systémem pro identifikaci bude panel osazený sérií barevných LED diod, které budou sloužit pro rozlišení jednotlivých hráčů na hrací ploše. Tento typ řešení popsali a také zkonstruovali Jan Pastrňák [2] a taktéž Marián Poláček [1] ve svých diplomových pracích. Daný LED panel lze vidět na obrázku 4. V práci Mariána Poláčka [1] jsou také velice dobře popsány problémy, které vznikají během realizace zpracování obrazu, při použití těchto LED panelů.

Jedním z problémů je špatná viditelnost LED diod při větší intenzitě osvětlení či větší vzdálenosti kamery od hřiště. Tento problém se budeme snažit vyřešit pomocí použití



Obrázek 3: Konstrukce robota z práce Jana Pastrňáka, Zdroj: [2]



Obrázek 4: Konstrukce LED panelu z práce Jana Pastrňáka, Zdroj: [2]

výkonnějších LED diod s vyšší svítivostí (viz. kapitola 4.2). Dalším výrazným problémem byl jev, kde se střed diod při zpracování obrazu jevil jako bílé světlo. Tuto anomálii se pokusíme využít v náš prospěch při lokalizaci hráčů a hřiště, jak bude popsáno v kapitolách 6.1 a 6.2.

3.3 Komunikace řídicího systému s roboty

Základním požadavkem na řízení robotů při hře fotbal robotů je bezprostřední interakce. Po analyzování jednotlivých předchozích řešení úloh zaměřených na navázání komunikace a kontroly robota pomocí technologie Bluetooth, bylo zjištěno, že dosavadní řešení nesplňují parametry pro reálné použití při hře. Programové prostředky použitelné pro komunikaci a ovládání robota jsou přehledně popsány v diplomové práci Davida Turoně [4]. Konkrétnější náhled na VPL (Virtual Programming Language) je podán v práci Miroslava Novotného [3].

Jedním z hlavních důvodů nepoužití daných prostředků byla jejich předpokládaná pomalá interakce s roboty. Z dříve zjištěných poznatků bylo také zřejmé, že robustní programové nástroje jsou náchylné k chybám a zbytečně komplexní. Pro potřeby našeho řešení tedy nevyhovují.

3.4 Zpracování obrazu

Řešení zpracování obrazu za účelem lokalizace a identifikace hráčů na hřišti je ovlivněno velkým množstvím vnějších faktorů, které jsou velmi obtížně specifikovatelné. V práci Jana Pastrňáka [2] byl popsán základní koncept řešení snímání hřiště záznamovým zařízením a jeho následné zpracování. V této práci byly také popsány nedostatky tohoto přístupu týkající se projektivního zkreslení polohy robota vlivem jeho výšky. V práci Mariána Poláčka [1] je daný koncept blíže popsán a také implementován v rámci knihovny pro lokalizaci a identifikaci hráčů.

Základním nedostatkem řešení uvedeného v práci [1] je jeho přílišná časová náročnost. Pokud předpokládáme, že algoritmus musí být použitelný pro reálnou hru fotbalu robotů, musí běh algoritmu pro identifikaci a lokalizaci pracovat takřka v reálném čase. Po testování knihovny z této práce [1] bylo zjištěno, že daný algoritmus tuto podmínku nesplňuje. Avšak metody v tomto algoritmu použité pro zpracování obrazu byly shledány jako efektivní a zcela určitě použitelné pro další vývoj.

Dalším nedostatkem dříve implementovaných algoritmů byla nepřítomnost kalibrace kamery, lépe řečeno automatické zaměření hřiště pomocí identifikátorů v jeho rozích. Návrh takového řešení byl prezentován v [1]. Tento nedostatek se pokusíme odstranit a začlenit jeho řešení do celkového výsledku (viz. kapitoly 4.3 a 6.1).

4 Konstrukční řešení

V následujících kapitolách budou stručně popsána konstrukční řešení jednotlivých komponent hry fotbalu robotů. Konstrukce samotného robota (hráče) v kapitole 4.1, dále konstrukce LED panelů pro identifikaci hráčů na hřišti v kapitole 4.2 a nakonec konstrukce identifikátorů hřiště (tzv. majáčků) v kapitole 4.3.

4.1 Konstrukce robota

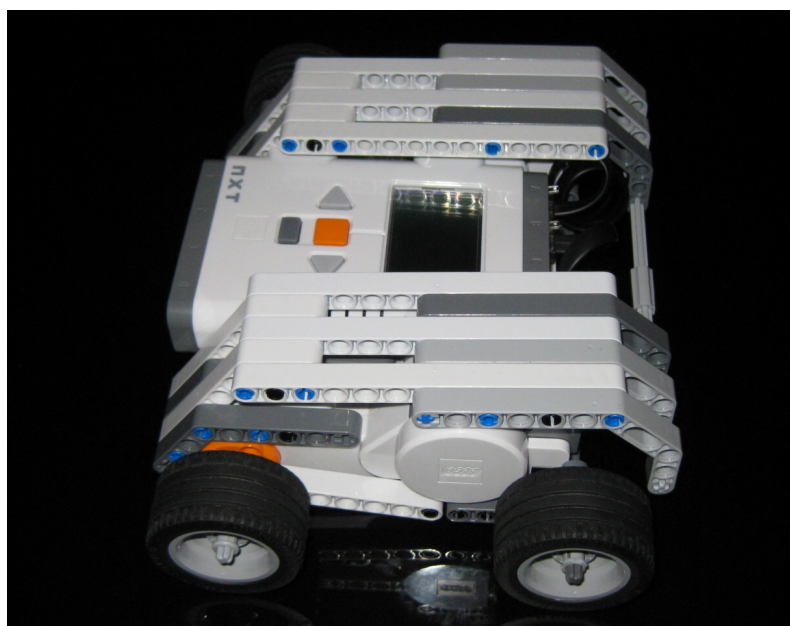
Jak již bylo popsáno dříve v kapitole 3.1, stávající konstrukce robota se nejeví jako vhodná pro účely reálné hry. Výška hráče by měla být co nejnižší pro účely dobré viditelnosti míče a také maximálně stabilní. Dále je také pro budoucí zjednodušení identifikace robota žádoucí, aby byl tvořen pravidelným tvarem a jeho horní stěna byla vodorovná. S důrazem kladeným na tyto dva základní parametry byla vytvořena konstrukce, jejíž rozměry jsou popsány v tabulce 1 a její vizuální podoba je zobrazena na obrázku 5.

Rozměry robota	
Délka	146 mm
Šířka (těla robota)	151 mm
Šířka (s koly)	205 mm
Výška	70 mm

Tabulka 1: Rozměry konstrukce robota

4.2 Konstrukce panelu pro identifikaci

Z důvodu nově vytvořené konstrukce robota popsané v kapitole 4.1 bylo zapotřebí vytvořit i nový LED panel pro identifikaci hráčů. Oproti dřívějším řešením z [2] a [1] bylo provedeno několik zásadních změn.

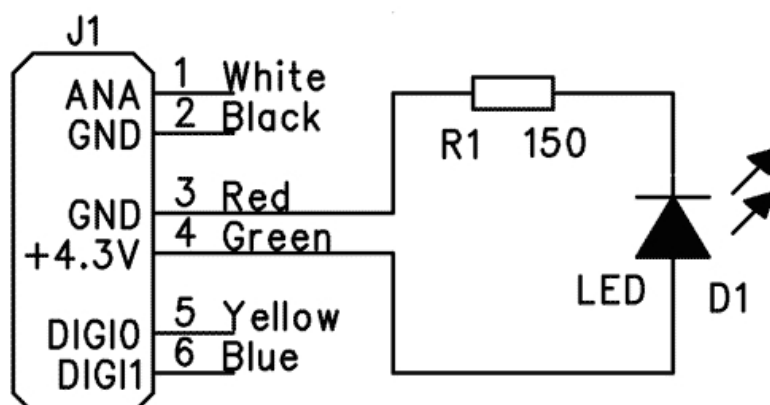


Obrázek 5: Nově vytvořená konstrukce robota, Zdroj: vlastní

4.2.1 Napájení LED panelu

Základním omezením předchozí konstrukce LED panelu byl způsob jeho napájení pomocí externího zdroje (9V baterie). Při analýze možností, které poskytuje samotná řídicí jednotka robota NXT (tzv. NXT Brick), bylo zjištěno, že všechny vstupní i výstupní porty robota jsou ihned po jeho spuštění pod napětím okolo 4,8 V [9]. Toto napětí jde tedy velice jednoduše využít pro napájení LED panelu.

Porty nacházející se na NXT Brick jsou zdířky pro konektory RJ12 (6-pin). Jak je ukázáno na obrázku 6, pouze dva piny jsou zapotřebí k tomu, aby bylo možné LED panel korektně napájet. Pro přímé napájení LED diod je tedy zapotřebí vytvořit vlastní kabel, který bude na jedné straně zakončen mírně upraveným RJ12 konektorem a na druhé straně pouze dvěma vývody pro využití daného napětí. Mírně upraveným konektorem je v tomto případě myšleno odstranění klipu pro zacvaknutí konektoru do zdířky, jelikož zdířky pro RJ12 nacházející se na LEGO MINDSTORMS NXT mají klip posunutý na pravý okraj konektoru, oproti standardním konektorům RJ12, u nichž se tento klip nachází



Obrázek 6: Rozdělení pinů pro porty NXT Brick, Zdroj: [9]

uprostřed. Celý postup vytvoření takového uživatelského kabelu kompatibilního s porty NXT robotů je také popsán na [9].

4.2.2 Konstrukce LED panelu

Panel osazený LED diodami také zaznamenal změny oproti dřívějšímu řešení z [1]. Z důvodu již dříve zmíněných požadavků na rychlé zpracování obrazu a tedy i identifikaci robotů, byla provedena změna v počtu LED diod umístěných na panelu. Jelikož se předpokládá, že v každém týmu budoucí hry budou maximálně tři hráči, jsou tři LED diody postačující v případě možnosti využití všech čtyř základních barev (červená, zelená, modrá, žlutá). Oproti minulým řešením se nepředpokládá nutnost rozpoznat tým, do kterého hráč patří pomocí jedné diody na konkrétní pozici. Pro dva hráče na každé straně postačí barvy tři.

První dioda je směrová, podobně jako u řešení z [1]. Tato dioda je použita při určení otočení robota a je u všech robotů stejná. Další dvě diody pak určují samotné ID hráče. V případě dvou hráčů v každém týmu je možné pomocí druhé diody rozlišit i příslušnost k danému týmu. Struktura možného uspořádání barev je naznačena v tabulce 2.

Samotná konstrukce panelu je pak relativně jednoduchá. Základem je univerzální plošný obvod, na který byla připájena série předřazených odporů a dutinkových lišt

Směrová dioda	Dioda ID1	Dioda ID2
RED	GREEN	GREEN
RED	GREEN	BLUE
RED	BLUE	GREEN
RED	BLUE	BLUE

Tabulka 2: Možné uspořádání barev na panelu pro identifikaci



Obrázek 7: Nově vytvořená konstrukce LED panelu, Zdroj: vlastní

pro samotné paralelní zapojení LED diod. Takto vytvořený plošný obvod je uložen do plastové kapsle pro zabránění jeho poškození. Výsledná konstrukce panelu je zobrazena na obrázku 7.

LED diody použité pro zátěžové testování byly standardní bodové diody velikosti 5 mm se svítivostí 10 cd a pozorovacím úhlem 30°. Při zapojení tří různobarevných diod s předřadnými odpory o velikosti 180 Ω byl celkový odběr proudu okolo 30 mA, což je proud dostatečně malý na to, aby zbytečně nevybíjel baterii robota, ale dostatečně velký na to, aby bylo dosaženo potřebné svítivosti diod.

4.3 Konstrukce identifikátorů hřiště

Návrh na vytvoření identifikátorů (majáčků) pro rohy hrací plochy byl uveden již v [1]. V rozsahu této práce budou takovéto identifikátory zkonstruovány a bude proveden pokus o jejich začlenění do procesu pro zpracování obrazu. Konkrétně pro automatickou kalibraci hřiště (viz. kapitola 6.1).

Konstrukce identifikátorů je velmi podobná konstrukci panelů pro identifikaci hráčů. Každý panel identifikátoru však obsahuje pouze jednu LED diodu. Tyto panely jsou opět zapojeny paralelně a připojeny na zdroj stejnosměrného napětí o hodnotě 5 V. Každý identifikátor je opět zkonstruován na univerzálním plošném obvodu a uložen do plastové kapsle.

5 Komunikace pomocí technologie Bluetooth

Z důvodů popsaných v kapitole 3.3 o nepoužitelnosti stávajících řešení pro komunikaci a ovládání robotů pomocí technologie Bluetooth byla prvotní činnost zaměřena na nalezení efektivního řešení tohoto problému.

Nástroje poskytované samotnou firmou LEGO jsou programově nepoužitelné. Nástroje integrované v prostředích jako je například MRDS jsou koncipovány jako služby využívající dané zdroje a jejich komplexnost značně komplikuje jejich integraci do vlastních aplikací mimo zmíněné prostředí. Nástroje jako například Robot C jsou časově nenáročné, ale jejich začlenění do výsledných projektů je opět velkým problémem.

Po rozsáhlé analýze byl nalezen projekt Anderse Sobørga[8], který implementuje rozsáhlou funkcionalitu komunikačních protokolů pro dorozumívání se s roboty LEGO MINDSTORMS NXT. Samotná knihovna zpracovává komunikaci prostřednictvím technologie Bluetooth až na bitové úrovni jednotlivých zpráv protokolu a je tedy velmi efektivní.

Výrazným problémem, který hovořil proti použití této knihovny byl fakt, že knihovna nebyla určena pro kompilátor Visual C++, což se projevuje použitím knihoven, které nejsou pro tento kompilátor k dispozici. Tento problém byl však odstraněn v rámci této práce a jeho vyřešení je popsáno v kapitole 8.1.

6 Lokalizace a identifikace

V následujících kapitolách budou popsány základní teoretické principy použité při zpracování obrazu za účelem lokalizace a identifikace jednotlivých součástí hry fotbal robotů. Samotný popis implementace důležitých či zajímavých částí patřících do tohoto okruhu bude uveden v kapitole 8.2.

6.1 Lokalizace hřiště a kalibrace

S vytvořením LED identifikátorů rohů hřiště vyvstává nový úkol pro automatické rozpoznání hrací plochy ve snímaném obraze. Řešení tohoto problému by mělo automatizovat a tedy i zjednodušit proces prvotního nastavení kamery (kalibrace) před samotnou hrou. Pro zjednodušení identifikace hřiště musí být splněny určité podmínky.

Jednou z těchto podmínek je dodržení předem určeného pořadí barev jednotlivých LED diod určujících rohy hřiště. Důvodem je ulehčení rozpoznání rozměrů hřiště. Při kalibraci je tak jednoznačně určeno, který z rozměrů je šířka resp. délka hrací plochy. Další důvod pro splnění této podmínky je správné vytvoření čtyřúhelníku představujícího hranice hrací plochy ve snímaném obraze. Vektory spojující rohy hrací plochy tak budou jeden na druhý navazovat a zjednoduší se pak rozdělení bodů, které jsou uvnitř hrací plochy, a které jsou mimo ni.

Některé možné kalibrační modely jsou popsány v tabulce 3. Z dané tabulky je zřejmé, že u modelu 1 je jednoznačně určena každá hrana hrací plochy. U modelu 2 je pak minimálně jednoznačně určen daný rozměr, jinými slovy jedna barevná kombinace dvou diod určuje buď šířku nebo délku hřiště.

Druhou a ještě důležitější podmínkou je výška umístění identifikátorů rohů hřiště. Výška identifikátorů musí být rovna výšce, ve které jsou umístěny LED panely robotů. Důvod této podmínky je opět snaha o zjednodušení algoritmu pro lokalizaci objektů na hrací ploše.

	Model 1	Model 2
Roh hrací plochy	Barva LED diody	Barva LED diody
Levý dolní roh	RED	RED
Pravý dolní roh	BLUE	BLUE
Pravý horní roh	GREEN	BLUE
Levý horní roh	YELLOW	GREEN

Tabulka 3: Možné kalibrační modely

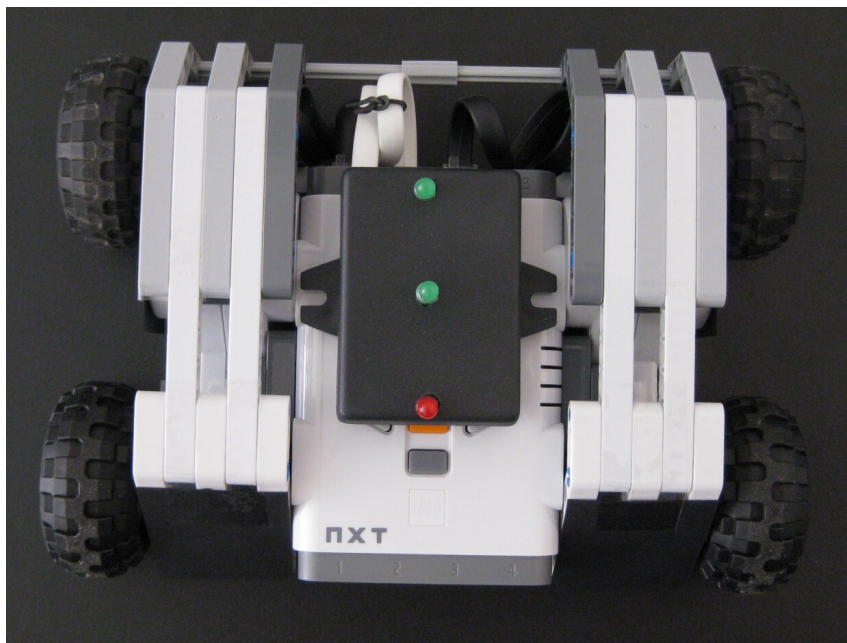
V případě, že jsou LED diody určující hrací plochu a LED diody identifikující hráče v jedné rovině, není zapotřebí při určení polohy robotů počítat s projektním zkreslením. Tento fakt značně ulehčuje výpočet pozice robota na hrací ploše. Podrobněji je tento postup popsán v kapitole 6.2.

Samotné nalezení LED diod je postaveno na tradičních principech pro vyhledávání objektů určité barvy v obraze. Pomocí těchto postupů bylo také implementováno řešení v [1]. Získaný obraz je podroben prahování s různými vstupními parametry, které jsou určeny jednak výchozími hodnotami pro dané barvy, ale také hodnotami zadanými uživatelem.

6.2 Lokalizace a identifikace hráčů

Základním úkolem při zpracování obrazu u hry fotbal robotů je samozřejmě určení polohy hráčů na hrací ploše. Poté co je určena poloha hráčů je nutno dané hráče od sebe odlišit. Pro oba tyto účely poslouží panely osazené LED diodami, jejichž konstrukce byla popsána v kapitole 4.2.

Oproti minulým řešením byl pro ulehčení lokalizace hráčů panel s LED diodami umístěn do středu samotného robota. Tento fakt má za následek dvě zlepšení. Díky této vlastnosti se nemusí provádět další zbytečné výpočty pro určení polohy robota, jelikož souřadnice středové diody daného panelu určují polohu samotného robota na hrací ploše. Další výhodou je zvětšení minimální vzdálenosti dvou diod, které nepatří ke stejnému robotovi. Umístění panelu na robotovi je ukázáno na obrázku 8.



Obrázek 8: Výsledná konstrukce robota s LED panelem, Zdroj: vlastní

Jak již bylo v kapitole 6.1 popsáno, rovnost výšek identifikátorů hřiště s LED panelem určujícím polohu a identitu robota podstatně zjednodušuje výsledný výpočet polohy hráče na hrací ploše.

V předchozím řešení určení polohy popsaném v [1] bylo nutné pro výpočet souřadnic hráčů vytvořit umělou rovinu rovnoběžnou s rovinou hrací plochy ve výšce identifikačních LED diod robota. Souřadnice nalezených bodů v této rovině odpovídající polohám skutečných LED diod musely být poté pomocí transformace posunuty do roviny hrací plochy. Teprve tyto body odpovídaly skutečné poloze robotů vůči hrací ploše. Proces vytvoření roviny a následné transformace jsou poněkud časově náročné a také zvětšují možnou odchylku vypočítané polohy hráče od jeho polohy skutečné.

Cílem tohoto zlepšení je tedy pokusit se eliminovat tyto chyby. Při nalezení souřadnic jednotlivých LED diod, v tomto případě jsou myšleny souřadnice těchto bodů ve snímaném obraze, jsou rovnou převedeny na souřadnice hrací plochy. Pro tento výpočet je

samozřejmě zapotřebí znát šířku a délku hrací plochy, které se však načtou při kalibraci před samotnou hrou.

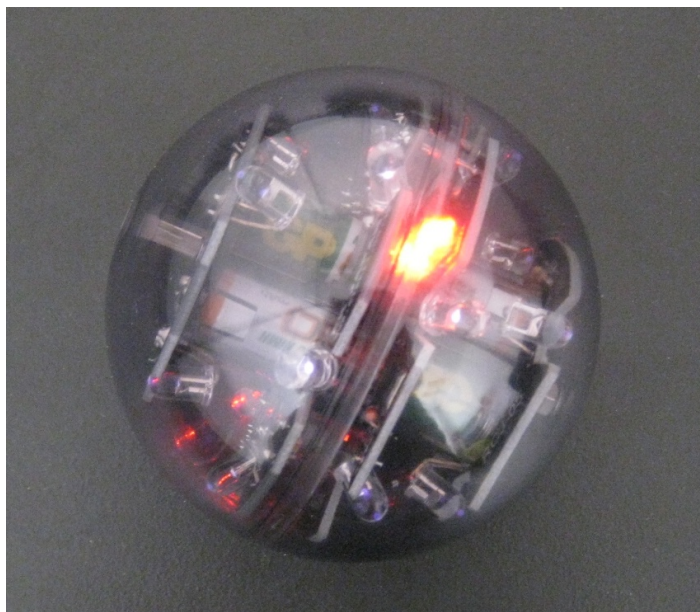
Princip nalezení jednotlivých barevných LED diod v obraze je velmi podobný tomu pro nalezení identifikátorů hrací plochy. Obrázek je opět pomocí prahování rozdělen na určité oblasti zájmu, které jsou dále zkoumány. Jak bylo popsáno v kapitole 3.2 střed LED diod se často jeví jako čistě bílé světlo. Této anomálie se pokusíme využít pro určení jednotlivých bodů našeho zájmu prostřednictvím vyfiltrování bodů s extrémně vysokým jasem ze snímaného obrazu. Po tomto kroku se v nejbližším okolí takto nalezených bodů pokusíme opět pomocí filtrování danou mezní hodnotou nalézt barvy jednotlivých LED diod.

Již při prvním kroku nalezení potenciálních bodů zájmu (bodů jevících se jako LED diody) probíhá odstranění bodů ležících mimo hrací plochu určenou identifikátory hřiště. V kapitole 6.1 byly popsány podmínky použití těchto identifikátorů, při jejichž dodržení je hřiště zkonstruováno jako čtyřúhelník tvořený na sebe navazujícími vektory. Pomocí jednoduchého určení náležitosti nalezeného bodu do konkrétní poloroviny, která je určena danou hranou hřiště, lze zjistit, zda bod zájmu leží či neleží v hrací ploše. Pokud je zjištěno, že bod leží mimo hrací plochu, je již z dalších výpočtů a testování vyřazen.

6.3 Lokalizace míče

V předchozích řešeních zabývajících se lokalizací jednotlivých komponent hry fotbal robotů nebyl brán zřetel na lokalizaci míče (popřípadě jiného objektu pro hru). V prvotních fázích zpracování této práce bylo zamýšleno vytvořit objekt pro hru podobný hokejovému puku. Takovýto puk by byl taktéž opatřen LED diodou pro určení polohy. Při případném použití takového objektu by však vznikala určitá úskalí.

Samotný identifikátor puku by musel být opět ve stejné výšce jako identifikátory robotů a rohů hřiště, aby bylo možné daný objekt zaměřit a lokalizovat. Tato podmínka by ve výsledku znamenala použití jakéhosi majáčku na základní platformě takového



Obrázek 9: Míč RoboCup Junior, Zdroj: vlastní

puku, který by svou výškou odpovídal výšce robotů a jeho vrchol by byl opatřen LED diodou. Popsaná konstrukce se samozřejmě nejeví moc stabilně.

Jako další výrazným problémem hovořícím proti této konstrukci se jevílo tření tohoto objektu vůči hrací ploše. Hrací plocha nemůže být nikdy dokonale rovná a tření puku by neodpovídalo požadavkům na chování míče v reálné hře fotbal robotů.

Z těchto a mnoha dalších důvodů byl prvotní návrh na použití kotouče přehodnocen a bylo rozhodnuto, že nebude začleněn do řešení práce. Místo kotouče se v rámci práce pokusíme vytvořit vhodné algoritmy pro nalezení skutečného míče. Míč, který byl použit pro testování, je oficiální míč pro turnaje RoboCup Junior (viz. obrázek 9).

7 Návrh implementace

V této části práce se budeme zabývat návrhem implementace modulu pro komunikaci řídicího systému s roboty pomocí technologie Bluetooth, modulu pro zpracování obrazu za účelem lokalizace jednotlivých komponent hry fotbal robotů a aplikace, která bude ilustrovat výsledné výstupy těchto modulů. Návrh se skládá z popisu použitých technologií a základních specifikací zmíněných modulů.

7.1 Použité technologie

Z důvodů, které byly velmi dobře a rozsáhle popsány v [1] bylo rozhodnuto, že pro realizaci modulů bude použit programovací jazyk C++. Jedním ze zásadních důvodů ovlivňujícím toto rozhodnutí byly výsledky doby zpracování jednotlivých vstupních obrazů pomocí algoritmu prezentovaném v [1]. Tento algoritmus, jakožto i celý výsledný modul, byl implementován v programovacím jazyce C#, který svým řízeným kódem přeci jenom zpomaluje chod samotného programu oproti kódu nativnímu. Dále také použitá knihovna *EmguCV* obsahující algoritmy pro zpracování obrazu, která je jakýmsi řízeným obalem knihovny *OpenCV* zpomaluje chod výsledného algoritmu.

V našem případě bude tedy použita originální knihovna *OpenCV* obsahující množství algoritmů a datových struktur pro získávání obrazu z různých záznamových zařízení a jejich následné zpracování.

Dalším z důvodů hovořícím jasně pro použití programovacího jazyka C++ je nutnost začlenění již hotové knihovny pro komunikace robotů prostřednictvím technologie Bluetooth[8] zmíněné v kapitole 5. Tato knihovna byla vytvořena právě v jazyce C++ avšak pro jinou platformu. V rámci této práce bude vytvořena verze této knihovny spustitelné pod kompilátorem Visual C++.

Posledním důvodem použití zmíněného programovacího jazyka je knihovna *Qt* poskytující rozsáhlé prostředky pro vytváření, správu a komunikování s komplexnějšími

oknovými aplikacemi. Tato knihovna je v současné době spravována společností Nokia a je rovněž implementována v programovacím jazyce C++.

7.2 Modul pro komunikaci prostřednictvím Bluetooth

Výsledkem řešení této části by měla být samostatná knihovna obsahující základní objekty a metody pro navázání spojení řídicího systému s robotem pomocí technologie Bluetooth a jeho následné spravování. Principy řešení jsou převzaty z [8], jediným úkolem pro implementaci tohoto modulu je přepsat a upravit určité části kódu tak, aby bylo možné knihovnu zkompileovat pomocí kompilátoru Visual C++. Originální knihovna byla vytvořena pro prostředí CodeBlocks a kompilátor GCC. Tato konfigurace je však pro budoucí začlenění výsledků této práce do celkového projektu fotbal robotů nepoužitelná.

7.3 Modul pro lokalizaci objektů

Samotný modul bude obsahovat základní datové struktury spojené se získáváním obrazu záznamovým zařízením a jeho následným zpracováním. Modul bude využívat zmíněnou knihovnu *OpenCV* pro realizaci základních algoritmů spojených právě se zpracováním obrazu a s lokalizací a identifikací jednotlivých objektů na hrací ploše.

Výsledný modul nakonec možná nebude samostatně stojící knihovnou, jelikož již při návrhu implementace je zřejmá silná provázanost s konkrétní aplikací, která bude výstupy daných algoritmů zpracování obrazů prezentovat. Implementace lokalizace a identifikace objektů tak bude přímou součástí aplikace pro prezentaci výsledků popsané v následující kapitole.

7.4 Aplikace pro prezentaci výstupů

Jak již bylo popsáno výše, uživatelské rozhraní bude implementováno pomocí knihovny *Qt*. Tato knihovna nabízí nejen prostředky pro vytváření oknových aplikací, ale také velké množství objektů spojených s použitím vláken.

Z důvodu časové náročnosti procesu pro získávání obrazu ze záznamového zařízení, který musí běžet neustále v průběhu celé hry fotbal robotů, je nutností, aby tento proces běžel v samostatném vláknu. Dalším vláknem pak je pracovní vlákno, které zprostředkovává danou analýzu obrazu a lokalizaci komponent hry. Hlavní vlákno poté zprostředkovává komunikaci uživatelského rozhraní s uživatelem a současně realizuje navázání spojení s roboty pomocí technologie Bluetooth a jeho spravování.

Ze struktury knihovny *Qt* je jasné patrné, že veškeré prvky uživatelského rozhraní musí být vytvořeny hlavním vláknem spuštěným při startu aplikace. [11]

8 Implementace

V této části práce se budeme podrobněji zabírat implementací určitých částí výsledného řešení. Toto řešení lze rozdělit na dva logické celky:

- Knihovna zprostředkovávající komunikaci s roboty pomocí Bluetooth (samostatná knihovna)
- Aplikace pro zpracování obrazu za účelem identifikace a lokalizace hráčů a míče

Z důvodu relativně velkého rozsahu implementace zde nebudou popisovány jednotlivé třídy, ale pouze zajímavé či problematické části implementace. Popisy tříd použitých pro realizaci řešení jsou popsány v programátorské dokumentaci vytvořené pomocí strukturovaného popisu a komentování zdrojového kódu. Jelikož je dokumentace knihovny Anderse Sobørga pro komunikaci prostřednictvím technologie Bluetooth [8] psána v anglickém jazyce, jsou takto zdokumentovány i další části implementace z důvodu konzistence výsledného výstupu.

8.1 Bluetooth komunikace

Jak již bylo stručně naznačeno v kapitole 5, implementací této části řešení je myšleno upravení již hotové knihovny vytvořené Andersem Sobørgem [8]. Po domluvě s autorem této knihovny bylo ujednáno, že použití knihovny v rámci této práce nebude vázáno žádnými dodatečnými licenčními podmínkami v případě poskytnutí výstupu těchto úprav zpět samotnému autorovi. I přes velmi dobře známý fakt, že úprava již hotového cizího zdrojového kódu je mnohdy pracnější než vytvoření kódu vlastního, se tento výměnný obchod jevil jako výhodný. Zvláště z toho důvodu, že knihovna obsahuje funkcionality potřebné nejen pro účely této práce, ale také velké množství dalších řešení problematiky spojené se spravováním komunikace a příjmem dat z veškerých senzorů a přídatných zařízení určených pro roboty LEGO MINDSTORMS NXT. Konečným výstupem řešení

této části implementace je tedy knihovna přesahující rámec zamýšleného výsledku práce použitelná pro nespočet dalších projektů zaměřených na tento typ robotů.

V dané knihovně musely být upraveny části, které využívaly prostředků mimo knihovny Visual C++. Další změnou byla rozsáhlá úprava stylu komunikace prostřednictvím sériových portů COM, které jsou v rámci Visual C++ postaveny na mírně odlišných principech.

Pro použití této knihovny v rámci hry fotbal robotů jsou pro nás nejdůležitější tyto tři třídy:

- *Connection*
- *Bluetooth*
- *Motor*

Jednoduchá ukázka navázání spojení s NXT kostkou připojenou k počítači prostřednictvím konkrétního známého portu COM a následné ovládání motorů je ukázáno ve výpisu zdrojového kódu 1.

```
int comPort = 5;
Connection *connection = new Bluetooth();
Motor *motorA = new Motor(OUT_A, connection);
Motor *motorB = new Motor(OUT_B, connection);

int main()
{
    try
    {
        cout << "Try_to_connect_to_the_NXT" << endl;
        connection->connect(comPort);
        cout << "Connected" << endl;
        while(! _kbhit () )
        {
            motorA->on(75,30);
            motorB->on(75,30);
```

```

    }
    motorA->stop();
    motorB->stop();
    connection->disconnect();
}
catch (Nxt_exception& e)
{
    //some error occurred – print it out
    cout << e.what() << endl;
    cout << e.who() << endl;
    connection->disconnect();
}
return 0;
}

```

Výpis 1: Ukázka navázání komunikace s NXT kostkou. Zdroj: [8]

Ve výpisu zdrojového kódu 1 je nejdříve inicializován objekt třídy *Connection* typu *Bluetooth* a poté jsou definovány dva motory připojené na konkrétní výstupní porty NXT kostky. V metodě *main* je poté provedeno připojení prostřednictvím konkrétního COM portu. Dále dokud uživatel nestiskne klávesu, oba motory se v jednom průběhu cyklu otočí o 30° při výkonu 75 %. Při ukončení cyklu se spojení uzavře. Ve výpisu zdrojového kódu lze také vidět odchycení výjimky *Nxt_Exception*. Tato třída je také definovaná v této knihovně a slouží pro lepší zpracování nestandardních stavů v průběhu komunikace.

8.2 Zpracování obrazu

V následujících kapitolách budou popsány stěžejní části implementace zaměřené na lokalizaci a identifikaci jednotlivých objektů hry fotbal robotů.

8.2.1 Kalibrování hřiště

Při kalibrování hřiště (zjištění rohů hrací plochy) je nutno najít různobarevné LED diody a z těchto nalezených bodů poté vytvořit čtyřúhelník reprezentující hrací plochu. Celý proces je zjednodušen dodržáním vstupních podmínek algoritmu popsanych v kapitole 6.1. Tyto podmínky jednoznačně určují pořadí barev LED diod v rozích hřiště a umožní tak sestavit čtyřúhelník reprezentující hrací plochu ze čtyř na sebe navazujících vektorů. Této vlastnosti je dále využito při procesu určení polohy jednotlivých robotů. Konkrétněji určení zda se body, identifikované jako zajímavé, nacházejí uvnitř hrací plochy (viz. kapitola 8.2.3).

Pro samotné nalezení poloh jednotlivých LED diod je nejdříve celý zpracováváný obraz filtrován pomocí prahu, který určí body s extrémním jasnem (jak bylo naznačeno v kapitole 3.2). V blízkém okolí těchto nalezených bodů je poté pomocí dalších prahů určeno zda barva bodů odpovídá konkrétním barvám LED diod.

Tento proces je velmi citlivý na počáteční nastavení prahových hodnot, které nelze předvídat. Hodnoty se liší v závislosti na intenzitě osvětlení a pozorovacím úhlu kamery.

Samotným jádrem řešení nalezení LED diod je použití dvou základních funkcí knihovny *OpenCV*. Jedná se o funkce *inRange* a *findContours*. První z jmenovaných funkcí slouží pro vyfiltrování bodů, které spadají do určitého rozsahu. Obvykle se tato funkce používá pro operace nad datovými maticemi obrázků, ale lze ji použít právě i pro zmíněné účely filtrace. V ukázce zdrojového kódu 2 je vidět definice funkce se stručným popisem vstupních parametrů.

```
void inRange(const Mat& src,      // zdrojový obrázek
             const Scalar& lowerb, // dolní mez
             const Scalar& upperb, // horní mez
             Mat& dst             // cílový obrázek
            )
```

Výpis 2: Popis vstupních parametrů funkce *inRange*. Zdroj: [10]

Každý pixel zdrojového obrázku je podroben porovnání s dolní a horní mezní hodnotou a pokud se jeho hodnota nachází v tomto intervalu, je do cílového obrázku zapsána hodnota bílé barvy. V opačném případě černé. Jelikož je vstupem tříkanálový barevný obrázek, je zřejmé, že meze intervalu budou reprezentovány trojrozměrným vektorem.

Knihovna *OpenCV* podporuje celou řadu barevných jmenných prostorů, jako jsou například RGB či HSV. Pro reprezentaci barvy lze vybrat kterýkoli z nich, ale je velmi těžké určit, který z nich je nejvýhodnější pro nalezení pixelu určité barvy.

V našem případě byla dána přednost modelu HSV (odstín, sytost, hodnota). Důvodem tohoto rozhodnutí je fakt, že při nacházení pixelu konkrétní barvy se mění pouze rozsah první složky odstínu (hue). Další dvě složky mohou zůstat ve stejném rozsahu pro všechny hledané odstíny. Tento model je také mnohem vhodnější pro určení blízkosti (podobnosti) dvou barev. U modelu RGB mohou dvě barvy mít například velmi blízkou hodnotu první složky R (červené), ale přesto se může jednat o dvě naprosto odlišné barvy. [7]

Funkce *findContours* je jedna z mnoha funkcí knihovny *OpenCV* určených pro vyhledávání komponent v obraze. Jejím vstupem může být pouze jednokanálový obraz, v němž bílé pixely reprezentují objekty a černé pixely reprezentují pozadí. Z tohoto důvodu je jako první krok před hledáním kontur doporučeno filtrování obrazu pomocí prahu. [6] Ve výpisu zdrojového kódu 3 jsou opět stručně popsány vstupní parametry funkce.

```
findContours(img,                                // zdrojový obrázek
              contours,                            // výstupní vektor obsahující kontury
              mode=CV_RETR_LIST,                  // typ struktury, do které bude výsledek uložen
              method=CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE,      // metoda aproximace bodů
              offset=(0, 0)                        // posun
            )
```

Výpis 3: Popis vstupních parametrů funkce *findContours*. Zdroj: [10]

Parametr *contours* reprezentuje výstupní vektor kontur. Jedná se konkrétně o vektor obsahující vektory bodů. Parametr *mode* slouží k nastavení datové struktury jakou budou vyhledané kontury reprezentovány. Pokud se jedná o komplikovanější obraz, je vhodné ukládat nalezené kontury do stromu a nikoli do seznamu. V následující analýze kontur je totiž možno odstranit všechny potomky uzlu, o kterém rozhodneme, že nesplňuje určitá kritéria. Parametr *method* volí metodu aproximace bodů. Výchozí volba aproximuje nalezené body částí kontur pouze do jejích koncových bodů. Poslední parametr *offset* reprezentuje posun, který má být proveden na všech bodech nalezených kontur, při jejich vykreslování.

Po nalezení kontur je provedena filtrace příliš velkých a příliš malých kontur, které nepředstavují námi hledané objekty. Poté už jen vypočítáme polohu dané LED diody zprůměrováním souřadnic všech bodů dané kontury. Tento bod by měl odpovídat poloze LED diody v obraze.

8.2.2 Identifikace míče

Pro řešení identifikace míče ve zpracovávaném obraze budou použity dva přístupy. První je naprosto shodný s předchozím řešením vyhledání LED diod určujících hrací plochu. Jak bylo popsáno v kapitole 6.3, je námi testovaný míč osazen sérií LED diod, které slouží k jeho nalezení v obraze.

Druhý přístup je založen na funkci pro vyhledávání kruhů v obraze. Použití této vestavěné funkce knihovny *OpenCV* opět vyžaduje předzpracování vstupního obrazu. V tomto případě se konkrétně jedná o vyhlazení obrazu. Tento proces zjemní takzvané zubaté hrany, které reprezentují v pixelovém obrázku kruh a ulehčí tak jeho následné vyhledání. Funkce pro nalezení kruhů v obraze *HoughCircles* je stručně popsána ve výpisu zdrojové kódu 4.

```
void HoughCircles(Mat& image,           // zdrojový obraz
                  vector<Vec3f>& circles, // vektor výsledných kruhů
```

```
int method,           // metoda nalezení kruhů
double dp,            // velikost akumulátoru
double minDist,       // minimální vzdálenost dvou kruhů
double param1=100,    // dolní mez pro Cannyho algoritmus
double param2=100,    // horní mez pro Cannyho algoritmus
int minRadius=0,      // minimální poloměr kruhu
int maxRadius=0       // maximální poloměr kruhu
)
```

Výpis 4: Popis vstupních parametrů funkce HoughCircles. Zdroj: [10]

Jak je vidět z výpisu zdrojového kódu 4, je při volání funkce potřeba zadat hodnoty velkého množství parametrů. Většinu z nich může uživatel odhadnout, jsou ale opět závislé na proměnných daného prostředí. V tomto případě zejména na pozorovacím úhlu a vzdálenosti kamery od snímané hrací plochy.

8.2.3 Lokalizace hráčů

Pro nalezení LED diod identifikujících hráče využijeme principu popsaném v kapitole 8.2.1. Zásadním rozdílem oproti identifikaci rohů hrací plochy však bude filtrování bodů, u kterých můžeme s jistotou říci, že se nejedná o objekty zájmu (možné LED diody hráčů). Toto filtrování nechtěných nálezů je právě postaveno na znalosti polohy rohů hrací plochy ve zpracovávaném obraze.

Pokud známe vektory určující hrací plochu, můžeme velmi jednoduše určit, zda-li testovaný bod patří do poloroviny nalevo nebo napravo od hraničního vektoru. A tím tedy jednoznačně prohlásit, zda bod leží uvnitř hrací plochy nebo mimo ni. Po nalezení odpovědi na otázku náležitosti k dané polorovině můžeme už velmi jednoduše dopočítat vzdálenost daného bodu od hranice hrací plochy. Jeden z možných postupů je ilustrován níže.

Testovaný bod $Z = (z_x; z_y)$, hranice hrací plochy určena dvěma body A a B: $\vec{AB} = (b_x - a_x; b_y - a_y)$. Parametr s je poté dán podílem vektorového součinu vektorů \vec{ZA} a \vec{AB} a velikosti vektoru \vec{AB} umocněné na druhou.

$$s = \frac{\vec{ZA} \times \vec{AB}}{\|\vec{AB}\|^2}$$

$$s = \frac{(a_y - z_y) \cdot (b_y - a_y) - (a_x - z_x) \cdot (b_x - a_x)}{(b_x - a_x)^2 + (b_y - a_y)^2}$$

Následný význam hodnoty parametru s :

- $s < 0$ bod Z leží nalevo od vektoru \vec{AB}
- $s > 0$ bod Z leží napravo od vektoru \vec{AB}
- $s = 0$ bod Z leží na vektoru \vec{AB}

Pokud je zjištěno, že testovaný bod do hrací plochy nepatří, je odstraněn ze seznamu zpracovávaných bodů. Pro výpočet vzdálenosti daného bodu od hranice hrací plochy poté platí:

$$\begin{aligned} dist_{(Z, \vec{AB})} &= |s| \cdot \|\vec{AB}\| \\ dist_{(Z, \vec{AB})} &= |s| \cdot \sqrt{(b_x - a_x)^2 + (b_y - a_y)^2} \end{aligned}$$

Jelikož je výška umístění identifikátorů hřiště stejná jako výška LED diod označující robota na hrací ploše stejná (viz. kapitola 6.1), je možné vzdálenosti od námi zvolených dvou na sebe kolmých hranic hřiště považovat za souřadnice robota na hrací ploše. Pokud provedeme drobnou úpravu:

$$distRel_{(Z, \vec{AB})} = \frac{dist_{(Z, \vec{AB})}}{\|\vec{BC}\|}$$

kde \vec{BC} je vektor hrany navazující na vektor \vec{AB} a tedy na tento vektor kolmý, dostaneme jako výsledek vzdálenost bodu Z od hranice určené vektorem \vec{AB} v intervalu $(0; 1)$. Tato hodnota je pro nás mnohem lépe použitelná, jelikož je nezávislá na konkrétní projekci. Vektor takovýchto dvou hodnot pak už může být exportován mimo algoritmus pro zpracování obrazu a je i nadále naprosto srozumitelný. Souřadnice $(0; 0)$ je pak například levý dolní roh hřiště. Pozice robota je na hřišti jednoznačně určena.

8.3 Výsledná aplikace

V kapitole 7.4 bylo již naznačeno, že pro realizaci oknové aplikace demonstrující funkcionality implementovaných modulů bude použita knihovna *Qt*. Tato knihovna je multiplatformní a je vytvořena v programovacím jazyce C++.

Po hlubší analýze bylo rozhodnuto, že funkce týkající se zpracování obrazu za účelem identifikace a lokalizace jednotlivých objektů hry fotbal robotů bude součástí oknové aplikace pro prezentování výsledků (viz. kapitola 7.3). Z důvodů velkého počtu tříd a struktur zde bude popsán pouze nástin řešení a poté bude zobrazen výsledný vzhled uživatelského rozhraní. Implementovaná aplikace vychází z *Qt* šablony vytvořené pro více vláknové aplikace zpracovávající digitální vstupy. [12]

Taktéž byla v kapitole 7.4 popsána základní koncepce práce s vlákny v rámci této knihovny. Celá aplikace má jedno hlavní okno, které je přímo odvozeno z třídy se stejným názvem *QMainWindow*. V rámci tohoto okna běží hlavní vlákno, které jediné může přímo měnit a manipulovat s prvky uživatelského rozhraní.

Další podstatnou třídou implementace je *CaptureThread* opět přímo odvozené od třídy *QThread*. Tato třída reprezentuje vlákno obstarávající získávání snímků ze záznamového zařízení a jejich poskytnutí samotné aplikaci.

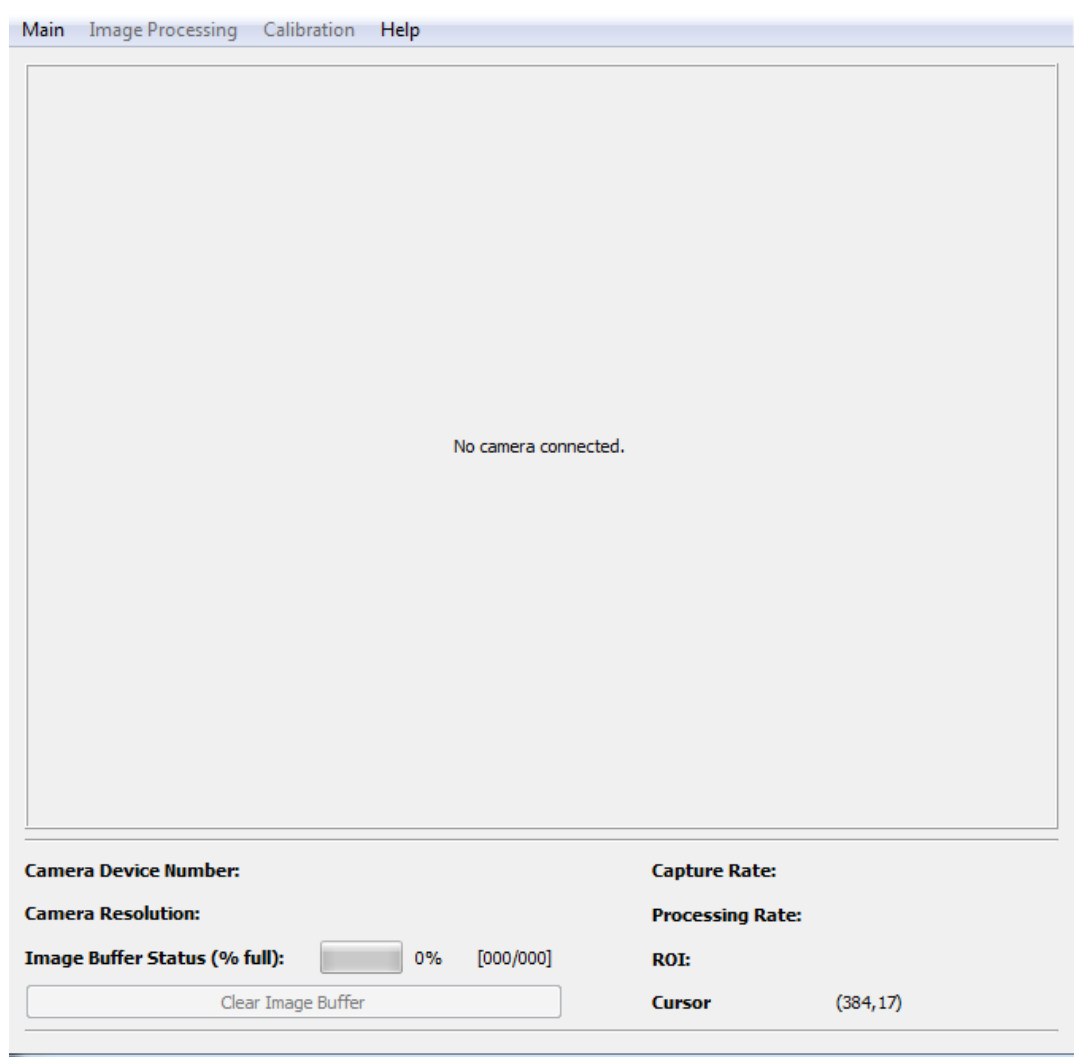
Posledním ale nejpodstatnějším vláknem je třída *ProcessingThread* opět přímo odvozená od třídy *QThread*. Tato třída představuje vlákno, které provádí veškeré zpracování obrazu za účelem identifikovat a lokalizovat jednotlivé komponenty hry fotbal robotů.

Základním principem komunikace mezi jednotlivými vlákny je takzvaný princip signálů (signals) a zdírek (slots). Jednotlivá vlákna by dle správné koncepce neměla za chodu měnit objekty a proměnné na haldě, ke kterým může přistupovat i jiné vlákno. Za tímto účelem jsou v knihovně *Qt* k dispozici signály a zdířky. [11]

Pokud například jedno vlákno chce vynutit aktualizaci společné proměnné, vyšle signál, na který je napojeno druhé vlákno pomocí své zdířky. To poté provede akci definovanou ve zdířce. Koncepce je velmi podobná událostem a posluchačům těchto událostí.

Dalším problémem, který vzniká při práci s vlákny a je nutné jej ošetřit, je správa společných zdrojů. V knihovně *Qt* k tomuto účelu slouží dvě základní třídy pro uzamykání takovýchto objektů: třída *QMutex* a *QReadWriteLock*. První ze zmíněných reprezentuje jednoduchý zámek vzájemného vyloučení. Druhá ze zmíněných implementuje zámek exkluzivního zápisu.

Pro dokreslení návrhu implementace je na obrázku 10 zobrazeno duté uživatelské rozhraní vytvořené pomocí aplikace *QtCreator*.



Obrázek 10: Ukázka uživatelského rozhraní, Zdroj: vlastní aplikace

9 Testování

Stěžejním předmětem této kapitoly bude podat přehled testovaných parametrů implementace a poukázat na problematické okolnosti, které nebyly předvídány v době implementace.

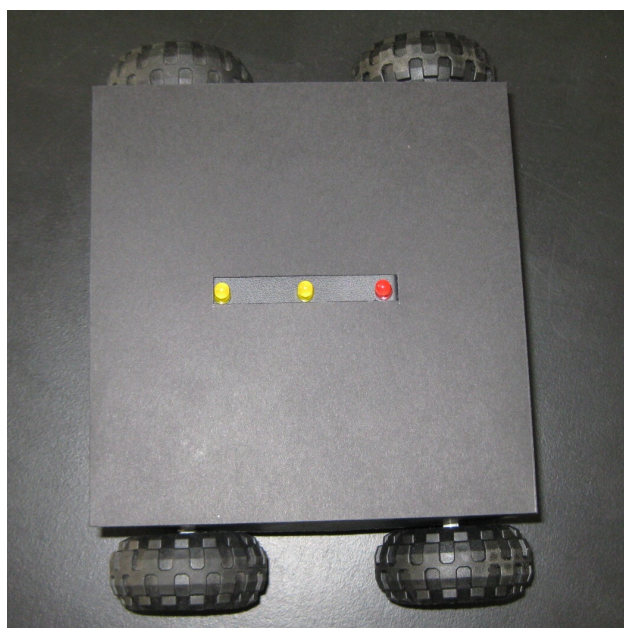
9.1 Testování konstrukce

Jako první byla otestována stabilita a vhodnost nové konstrukce robota a LED panelu. Při testování bylo zjištěno, že některé světlé části robota při vyšší intenzitě osvětlení mohou vytvářet odlesky, jejichž interpretace při zpracovávání obrazu může vyústit v chybnou lokalizaci hráče. Z tohoto důvodu byla konstrukce opatřena krytem z obyčejného černého papíru a veškeré části robota viditelné pod středním pozorovacím úhlem byly taktéž zakryty. Toto jednoduché řešení opět dopomohlo ke zrychlení procesu identifikace, jelikož se nemusí testovat zbytečně velké množství mylně nalezených bodů. Finální konstrukce robota s krytem je zobrazena na obrázku 11.

9.2 Testování Led diod

Jak již bylo podrobněji zmíněno v kapitole 3.2, nízká svítivost testovaných LED diod v předchozích řešeních zapříčiňovala nestabilní výsledky rozpoznání barev při větší vzdálenosti kamery od snímaných objektů. Při snaze o odstranění tohoto problému byly málo výkonné diody nahrazeny vysoce svítivými bodovými čirými diodami se svítivostí až 10 cd.

Problém bílého středu LED diod, který je taktéž popsán v kapitole 3.2, značně znesnadňoval lokalizaci barevných diod v obraze. Koncept řešení využívající této nevýhody v náš prospěch pro identifikování bodů s extrémně vysokým jasem se jevil i při testování jako správný.



Obrázek 11: Výsledná konstrukce robota s krytem, Zdroj: vlastní

Použití výkonných diod s extrémně vysokou svítivostí však zapříčinilo jinou anomálii. Při testování se bohužel projevil jev, který by se dal nazvat jako oslnění oka kamery. Při snímání hrací plochy pod malým pozorovacím úhlem, často docházelo k proniknutí přímého svitu vyzařovaného diodou do oka kamery. Tato skutečnost zapříčinila neschopnost kamery rozpoznat barevné komponenty v relativně velkém okolí diody vyzařující oslňující paprsek světla.

Pro vyřešení tohoto problému byl přehodnocen původní výběr diod s vysokou svítivostí a byly zvoleny jednobarevné mléčné LED diody se svítivostí kolem 800 mcd. Tyto diody se při následném testování velmi osvědčily a jejich viditelnost byla přijatelná i při intenzivnějším osvětlení hrací plochy.

9.3 Testování rozsahu pozorovacího úhlu kamery

Jak bylo již naznačeno v úvodu této práce, jedním z cílů bylo vytvořit obecnější rámec pro hru fotbal robotů, který by nebyl svázán příliš striktními pravidly (jak tomu bývá u oficiálních soutěží).

Při testování různých pozic a pozorovacích úhlů docházelo k přílišnému rušení identifikátorů rohů hřiště přebytečnou konstrukcí hrací plochy. Tento fakt bohužel skoro znemožňoval testování automatické kalibrace. Při testování tohoto parametru byla také zjištěna velká závislost vstupních parametrů pro filtrování obrazu a pozorovacího úhlu kamery a její vzdálenosti od hrací plochy.

9.4 Testování vlivu intenzity osvětlení

Tento parametr byl jedním z nejobávanějších při počátcích testování aplikace. Bohužel se předpoklady potvrdily a při testování bylo zjištěno, že vliv intenzity osvětlení na zpracování scény hrací plochy je výrazný. Jako jedno z největších úskalí se jevílo výrazné ovlivnění vstupních parametrů pro filtrování obrazu pomocí mezních hodnot pro jednotlivé barvy.

Tento neblahý vliv značně degradoval použití automatické kalibrace, která musí být z uvedených důvodů uživatelsky přednastavena.

9.5 Testování míče pro hru fotbal robotů

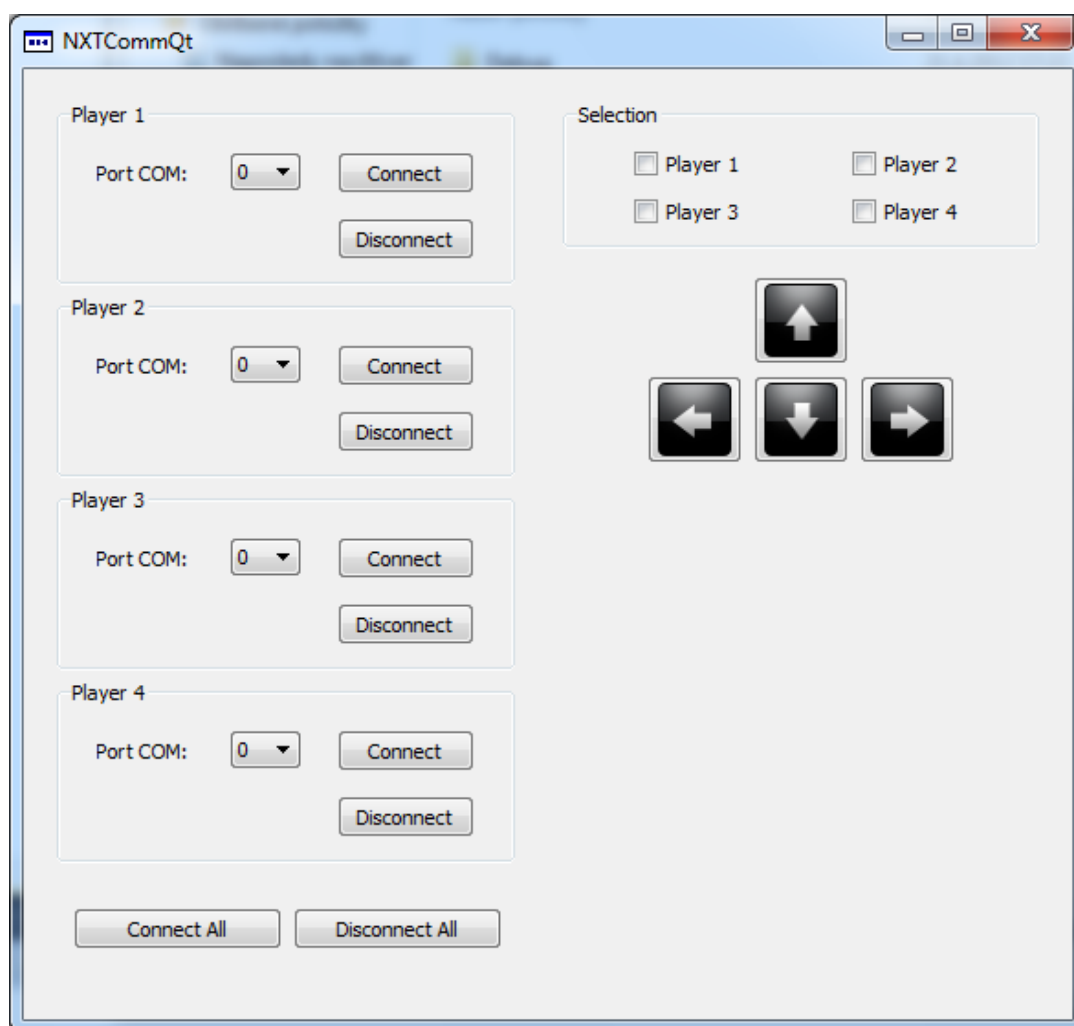
Při testování LED míče určeného pro turnaje RoboCup Junior bylo zjištěno, že i přes minimální výšku robotů je bohužel viditelnost míče extrémně omezena. Obzvláště v situacích, které by se daly nazvat soubojem o míč, kdy více robotů obklopí míč a téměř znemožní kameře pod větším pozorovacím úhlem sledovat daný objekt.

Z tohoto důvodu a také z důvodu velmi špatné viditelnosti a tudíž i rozpoznatelnosti LED diod míče, byl opět přehodnocen prvotní výběr objektu. Při testování několika

náhodně vybraných objektů se jako schůdná varianta jevil obyčejný tenisový míček. Tento objekt byl dobře rozpoznatelný pomocí algoritmu pro vyhledávání kruhů i za rozličných světelných podmínek. Jako jediná nevýhoda tohoto objektu se jevilo přílišné odražení světla při větší intenzitě osvětlení. Tento problém by však mohl být do budoucna odstraněn jednoduchým obarvením míče na méně jasnou a tmavší barvu.

9.6 Testování Bluetooth komunikace

Po úpravě knihovny pro zprostředkování komunikace, byla vytvořena jednoduchá aplikace pro prezentaci funkcionality této knihovny (viz obrázek 12). Aplikace při testování nejevila žádné nedostatky. Testování proběhlo úspěšně pro připojení čtyř robotů (hráčů) a jejich souběžného ovládání.



Obrázek 12: Ukázka uživat. rozhraní komunikační aplikace, Zdroj: vlastní aplikace

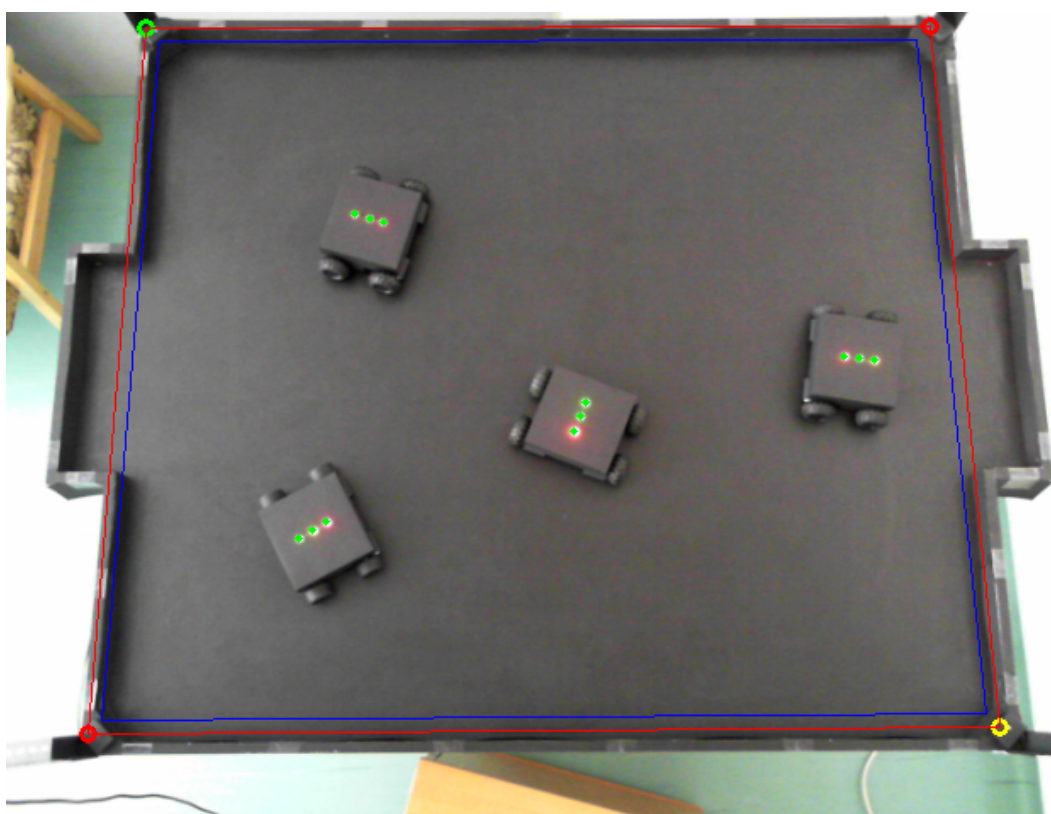
10 Vyhodnocení experimentů

Při testování bylo odhaleno několik komplikací, které se povětšinou podařilo odstranit. Jako závažné omezení se však jeví přílišný vliv intenzity osvětlení na rozpoznávání objektů v obraze. Jak již bylo popsáno v kapitole 9.4, tento efekt výrazně znehodnotil automatickou kalibraci a následné použití těchto hodnot pro identifikaci a lokalizaci dalších objektů hry. Z tohoto a mnoha dalších důvodů byla do aplikace dodatečně implementována ruční kalibrace. Tato kalibrace slouží uživateli pro ruční označení jednotlivých rohů hřiště.

Ruční nastavení základních parametrů pro filtrování různobarevných objektů je stále ponecháno na uživateli. Bohužel se během testování nepodařilo vysledovat žádnou jednoznačnou závislost konkrétních parametrů na určitých vnějších faktorech.

Omezení pozorovacího úhlu se může jevit při prvním pohledu jako velký nedostatek, nicméně pro konfiguraci testovanou v rámci této práce je to nezbytné. Jedná se o zaručení viditelnosti tenisového míče i při obklopení roboty. Pokud je zapotřebí identifikovat a lokalizovat míč, musíme danou scénu hrací plochy sledovat pod malým pozorovacím úhlem.

Jednotlivé testované části byly po realizaci úprav zkompletovány a testovány v rámci navržené aplikace. Výstupy z testování jsou zobrazeny na obrázku 13 a 14.



Obrázek 13: Ukázka kalibrace hrací plochy, Zdroj: vlastní aplikace



Obrázek 14: Ukázka detekce hráčů a míče, Zdroj: vlastní aplikace

11 Závěr

V samotném úvodu této diplomové práce byla po stručném popisu robota LEGO MINDSTORMS NXT analyzována předchozí řešení jednotlivých dílčích částí procesu potřebného pro správné fungování komplexní hry fotbal robotů. Z takto analyzovaných řešení byly vybrány přínosné aspekty, které byly později zakomponovány do vlastního řešení problematiky.

Dále byla navržena nová konstrukce robota pro splnění požadavků kladených na danou hru a také byl vytvořen systém pro identifikaci těchto robotů vycházející z předchozích řešení. Nově byly zkonstruovány přídatné prvky (identifikátory hrací plochy).

Byl proveden návrh a následně implementace aplikace pro rozpoznávání a lokalizaci jednotlivých komponent hry fotbal robotů. Byla upravena již vytvořená knihovna zprostředkovávající komunikaci mezi robotem a řídicím systémem pomocí technologie Bluetooth. Zmíněná aplikace i knihovna jsou připojeny ve formě multimediální přílohy této diplomové práce na disku CD.

Výsledná aplikace byla v závěru práce podrobena sérii testů zaměřených zejména na změření vlivu vnějších faktorů na automaticky nastavené vstupní parametry pro zpracování obrazu.

11.1 Výhody a nedostatky

Jak již bylo popsáno v kapitole 8.1 výsledná plně funkční knihovna zajišťující komunikaci robotů LEGO MINDSTORMS NXT obsahuje části, které jsou nad rámec předpokládaných výsledků této práce a její použití je přínosem i pro jiné projekty zaměřené na tento druh robotů. Aplikace pro demonstraci použití dané knihovny v rámci souběžného ovládání je plně funkční.

Aplikace demonstrující využití modulu pro zpracování obrazu za účelem identifikace a lokalizace různých objektů hry fotbal robotů je taktéž plně funkční a oproti řešení, která byla realizována dříve, je časově nenáročným ekvivalentem.

Zklamáním oproti očekávaným výsledkům je neúspěch v zakomponování automatického rozpoznání hrací plochy a automatického nastavení vstupních parametrů pro další rozpoznávání objektů během samotné hry. Tento proces stále vyžaduje příliš velkou míru zapojení uživatele do celého procesu.

Dalším nedostatkem je relativně velký vliv vnějších faktorů (jako například intenzita osvětlení) na výsledné zpracování obrazu záznamovým zařízením.

11.2 Další vývoj

Při analýze řešení a návrhu implementace byl kladen velký důraz na malou časovou náročnost veškerých výpočtů a procesů spojených s lokalizací a identifikací jednotlivých objektů hry fotbal robotů, aby bylo možno zpracovat každý snímek načtený záznamovým zařízením. Při testování však vyšlo najevo, že výpočty aplikované na každý snímek obrazu jsou mnohdy zbytečné. Rychlost pohybu robotů je relativně malá, a tak výpočty prováděné na sekvenci snímků v menších časových intervalech vrací podobné, ne-li shodné výsledky.

Jedním z možných podnětů pro další vývoj by proto mohla být snaha o eliminaci těchto redundantních výpočtů. Jinými slovy pokus o určení reálného požadavku taktické části hry fotbal robotů na rychlost zpracování obrazu.

V kapitolách pojednávajících o testování výsledné implementace byly častokrát zmíněny problémy týkající se LED identifikátorů. Lépe řečeno jejich závislosti na vnějších faktorech, které lze často velmi těžko ovlivnit a ještě hůře předvídat.

Další možností pro následný vývoj by tedy mohl být pokus o zkonstruování modulu, který by byl schopen závislost vstupních parametrů zpracování obrazu na vnějších faktorech vysledovat popřípadě se i samostatně učit z minulých konfigurací. Jiným řešením

tohoto problému by také mohlo být nalezení typu identifikace robotů, která je méně náchylná na tyto vnější faktory.

12 Literatura

- [1] Poláček, Marián. *Microsoft Robotics Studio – Programování robotů*. Ostrava, 2010. 52 s.
Diplomová práce, Katedra informatiky, VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [2] Pastrňák, Jan. *Microsoft Robotics Studio – Programování robotů*. Ostrava, 2008. 52 s.
Diplomová práce, Katedra informatiky, VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [3] Novotný, Miroslav. *Microsoft Robotics Developer Studio - jazyk VPL*. Ostrava, 2011. 75 s.
Diplomová práce, Katedra informatiky, VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [4] Turoň, David. *Microsoft Robotics Studio – Programování robotů*. Ostrava, 2010. 62 s.
Diplomová práce, Katedra informatiky, VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [5] Hložánka, Marek. *Microsoft Robotics Developer Studio - použití senzorů*. Ostrava, 2010. 41 s.
Bakalářská práce, Katedra informatiky, VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [6] Laganière, Robert. *OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook*. Birmingham: Packt Publishing, 2011. ISBN 978-1-849513-24-1.
- [7] Bradski, G., Kaehler, A. *Learning OpenCV*. 1st edition. Sebastopol (California): O'Reilly Media, Inc., 2008. ISBN: 978-0-596-51613-0.
- [8] *Komunikační knihovna pro NXT Anderse Sobørge* [online].
<http://www.norgesgade14.dk/index.php> [cit. 2012-3-10]
- [9] *Stránky věnované uživatelským vylepšením robotů LEGO MINDSTORMS NXT* [online].
<http://www.philohome.com/nxt.htm> [cit. 2011-12-12]
- [10] *Online dokumentace a podpora knihovny OpenCV* [online].
<http://opencv.willowgarage.com/wiki/> [cit. 2012-4-12]
- [11] *Online dokumentace a podpora knihovny QT* [online].
<http://qt-project.org/doc/> [cit. 2012-4-1]

[12] *Projekt pro práci více vláken v rámci knihovny QT* [online].

<http://code.google.com/p/qt-opencv-multithreaded/> [cit. 2012-4-3]

[13] *Tucson Technics blog website* [online].

<http://tucsontechnics.blogspot.com/2011/09/nxt-brick.html> [cit. 2012-2-5]

A Obsah disku CD

Aplikační část: Výsledné implementace vytvořené v rámci této diplomové práce.

Knihovna NXTCommLib: Knihovna podporující komunikaci řídicího systému s roboty LEGO MINDSTORMS NXT prostřednictvím Bluetooth technologie.

Aplikace NXTCommQt: Aplikace demonstrující funkčnost části knihovny NXTCommLib spojené s přímým souběžným ovládáním robotů.

Aplikace QMultiThread: Aplikace demonstrující zpracování obrazu za účelem identifikace a lokalizace jednotlivých objektů hry fotbal robotů.

Dokumentace: Stručná uživatelská dokumentace k aplikaci QMultiThread.

Fotodokumentace: Fotografie dokumentující proces tvorby daných částí konstrukce.

Text: Text diplomové práce ve formátu PDF/A-1b